

## 冷水システム運転シーケンス

### -- 例 --

#### 概要

このチラーシステムは三台のチラーにより構成されている:最大負荷から25%までの部分負荷に効率よく稼動する大型遠心式冷凍機2台(CH-1 および 2) と遠心式冷凍機の約3分の1程の大きさで8段のアンローダー<sup>1</sup>により部分負荷にきめ細かく対応するレシプロチラー一台(CH-3) である。このシステムにはチラーの自動ステージング/選定の最適化制御はない。チラーのステージングの好ましいシーケンスは季節により異なる。一次ポンプおよび冷却水ポンプは定流量で運転される。二次冷水供給ループは、圧力差により制御される可変速ポンプにより駆動され、現在の負荷に合わせてできるだけ低い速度および圧力で運転するよう、圧力差は段階的にリセットされる。夫々のチラーに対応している3台の冷却塔がある。ACU-1~10 および CRU-1 からの排熱を捨てる冷却水配管ループに熱交換器が組み込まれているため先発冷却塔は一年を通して運転される。ビルオートメーションシステム (BAS) は、チラーの持つ多くの機能を制御し、設定値を決め、他の機器を稼動可能にし、そしてチラーとのインターフェースを介して多数のポイントを監視する。[BAS] とは、制御の設定やパラメーター決定を、チラーのパッケージ制御パネル以外のどこで行うかを示している。

Note: シーケンス 6 および 33 は、冷水供給温度が上昇するようリセットされる前に、冷水圧力が最小となるべくリセットされるよう設計されている。

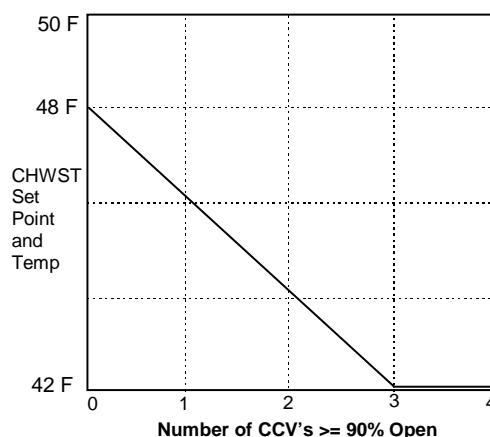
<sup>1</sup> ポンプエネルギーを含み、高い負荷率 (チラー容量の75% ~ 100%)において遠心式冷凍機は他の冷凍機よりもより効率的である、負荷率50%では遠心式冷凍機もレシプロもほぼ同じで 25% になるとレシプロのほうがより効率的である。小型のCH-3が25%という小負荷が掛かることは余り考えられないので、CH-1 および 2 が第一義的に使用される。

#### チラー (CH-1、2 ; 3)

1. ソフトウエア [BASが] 先発・後発選択器が複数あるチラーの一台をリード機として採用する。
2. 次の状態のときに限ってチラーの運転が可能になる :
  - a) スケジュールによるチラーオン [by BAS]
  - b) 外気温度 >13 のとき[BAS] (12 以下になると停止)
  - c) 停止を促す警報は無い(BAS及びチラーパネルに通報)
  - d) 冷却塔水槽温度が最小値以上[BAS及びチラーパネル]
  - e) 冷房が要請された[BAS]
  - f) 冷水及び冷却水の流れが確認できた [BAS及びチラーパネル]
3. 冷房が要請された<sup>2</sup>とき、先発一次冷水ポンプが起動し、ポンプの状態はBASの電流センサーにより、流れはフローズスイッチにより確認される。次いで先発に割当てられたチラーのオイルポンプが起動、先発冷却水ポンプが起動し、ポンプ状態がBASの電流センサーにより、流れがフローズスイッチにより確認される。これらのポンプは、チラー統合プログラムの設定 (調整可能)により、30~60秒の遅れを持たせる。次いで先発二次冷水ポンプが起動し、可変周波数駆動装置 (VFD)により最低速度20 Hzから順次速度を増していく。(20Hzは電流とHzとの関係の試験から決定、20Hzが電流が増大しない最低周波数であった)

- <sup>2</sup> 冷房が要請されるのは、運転されているAHU (AHU 1、2、3 あるいは4) のうちの一つの空調機の冷却コイル弁が少なくとも10分間、かつ少なくとも15% 開いているときである。なお、冷水供給温度設定値が実際の冷水温度より xx 以上低いと冷房可能とする、チラーのパッケージ制御器の制限があることに注意すべきである。この値を0にするとこの制限を外すことができる。
4. そしてプレロテーションベーンが閉まった状態で先発チラーが起動、その後ベーンは徐々に開いていく (全閉から全開まで ~3 分、全開から全閉まで ~1 分)。
  5. チラーは容量制御しながら冷水供給温度を設定温度[BAS]に保つが、その値はリセットスケジュールに基づき5.5 から8.8 の間である。CH-1 及び CH-2 は容量制御にプレロテーションベーンを用い、CH-3はレシプロチラーで8段のアンローダーを用いる。
  6. 冷水供給温度リセット [BAS] 冷水供給温度の初期設定値6.6 (44F)とする。(シーケンス33にあるように)二次ポンプの速度が最小になったときのみ冷水温度はさらに高い温度にリセットされる。その理由は、差圧リセット(シーケンス33)によるポンプ速度低減と冷水温度リセットとは競合するが、冷水温度を高温にリセットするよりも差圧を低くリセットする方が冷却トンあたりの省エネルギー量が大きいからである。

ポンプ速度が許容最低速度であるとき、冷水温度リセットルーチンが起動して温度を上げていく。一台あるいは複数のポンプが最小速度以上になったときにその設定温度を保持し、再びポンプが最小速度になるまで温度リセットは行わない。ハンチングを避けるため動作隙間或いはタイムラグを持たせる。同様に、冷水供給温度設定値は、全ての二次ポンプが最大速度になるまで、現在の状態から下がることはない。圧力リセットについては以下になる。全ての冷却コイル弁の開度が90%以下のときに低圧側に圧力リセットを開始し、そして全ての冷却コイル弁の開度が80%以下になるまでは高温側への冷水温度リセットは行わない。こうなると、冷水供給温度リセットのシーケンスは次のようである。： 全ての冷却コイル弁が開度80% 未満の時、冷水供給温度設定値は比例帯の最高点の値(8.9 、48F)をとる。三つ以上の冷却コイル弁が開度80%以上である時、設定値は最低の値(5.6 、42F)である。



7. 還気の相対湿度が50% 以上になると、冷水供給温度リセットは上げない[BAS]。
8. チラーのステージング(台数制御) [全てBAS] チラーの自動最適化ステージング/選定制御は有しない。最初の後発チラーの起動が要請されるのは、計量された二次冷水流量が20分間

(調節可能)に亘って一次側冷水量を上回り、かつ、先発チラーの負荷率が95%(定格電流の)に達している時である。なお、各二次冷水ポンプの設計流量は2900lpmである。この要請が20分持続したとき、最初の後発チラーとポンプのシーケンスが、上述の如く先発チラーと同じように始まる。二番目の後発チラーは同じ条件およびシーケンスで起動する。後発チラーが起動するときはいつでも、全ての運転中のチラーは必要に応じて負荷の増減を行い、5%以内の誤差で同一負荷率(定格電流に基づく)で稼働する。

<sup>1</sup>この95%というパラメータであるが、CH-3が先発チラーとして稼働することも、望むならば許され、その時は全負荷まで稼働してからCH-1またはCH-2という遥かに容量の大きいチラーが起動する。なぜならば、CH-1,2とCH-3の一次冷水流量には大きな違いがあるが、一方二次側ポンプの流量には一次側のチラーの違いに対応するような差は無いからである。

9. 一次冷水流量の合計が二次冷水流量の合計を、最後に選択されたチラーの一次冷水ポンプの流量分だけ20分(調節可能)に亘って超過した時は、最後に選択された後発チラーとそれに対応するポンプは停止する。
10. 外気温が \_\_\_\_\_ 分間[BAS]に亘って12.8 未満であるか、或いは、全ての冷却コイル弁10分間[BAS]に亘って開度15%未満か、或いは、全ての空調機が停止[BAS]しているか、或いは、非居住スケジュールが発生(夜間下限状態が満たされていないことにより)[BAS]したか、或いは、故障アラームが登録された(BAS及びチラー制御器に)ときには、全てのチラーおよびポンプは停止する。

### チラーの各種機能

11. チラーは一時間の内に3回を越してオンオフのサイクリングはしない(チラー制御器)。
12. チラー故障の警報。故障警報は手動でリセットしなければならない。チラー運転マニュアルの中の他の警報モードを参照[チラー制御により発せられる警報、チラー制御による停止は、BASに通報される]。
13. デマンドの制限 [BAS] ビルオートメーションシステム [BAS]によりデマンド制限設定値の調整が行われることがある。(全てのチラーのkWの合計)デマンド制限に該当した時は、次のチラーの起動を一時間(調節可能)遅らせる。このシーケンスは、チラーのパッケージ制御の中にある常備されたシーケンスで動作不能とされたものとは別のものである。
14. BASはkWをモニターし、またチラーの負荷を冷水の蒸発器通過水量と温度差を用いて算出する[BAS]。
15. チラー室の出入口ドアの隣に、換気システム以外の全ての機器を停止させる非常停止スイッチを設置する。(この換気システムは、非常停止スイッチの作動とともに換気ファンがパージモード自動起動するものである。)

### 一次冷水ポンプ (CH-1、2用のCHWP 1、2、3並びにCH-3用のCHWP 4;5)

16. 一次冷水ポンプは各々一台のチラーに対応している[BAS]。先発の一次冷水ポンプは上述のチラーシーケンスに従って冷房運転要求されると起動する。後発の一次冷水ポンプは上述のチラーシーケンスに従って後発チラーが運転要求されると起動する [BAS]。

17. 一次冷水ポンプは、対応するチラーが稼働しているときは連続して運転される。一次冷水ポンプは製造者の推奨により定流量でチラーに冷水を送る。ポンプ流量は、CH-1及びCH-2は2555lpm、CH-3は681lpmである。最終値は調整報告書で確認されたい。
18. スタンバイ(予備)一次冷水ポンプはCH-1と2の予備として設置され、手動で弁を開いて稼働させることができる。CH-3用のスタンバイ一次冷水ポンプ自動的に切替えられる [BAS及びリラー制御器により検知、BASによるポンプ制御]。
19. a) CHWP 1、2、3：モーター電流スイッチおよびフロースイッチの感知によるポンプ故障警報。先発ポンプが故障すると、チラーは停止し、後発のチラーが負荷に対応して自動起動する[BAS]。  
b) CHWP 4；5：モーター電流スイッチおよびフロースイッチの感知によるポンプ故障警報。先発ポンプが故障すると、スタンバイポンプが自動起動する。[BASとチラー制御器により検知、BASによるポンプ制御]

### チラー冷却水ポンプ (CDP 1、2、3、4；5)

20. CH-1とCH-2に対応する冷却水ポンプCDP 1、2、3及びCH-3対応のCDP 5は、夫々のチラーが稼働しているとき継続して運転される。冷却水ポンプは、メーカーの推奨により定流量でチラー凝縮器に冷却水を送る：ポンプ流量は、CH-1及びCH-2は3760lpm、でCH-3は1002lpmである。
21. 一台のスタンバイ(予備)の冷却水ポンプがCH-1と2に共用される。適切な手動弁操作してポンプを稼働させることができる。CH-3用のスタンバイのポンプは自動的に切り替え運転される [BAS]。
22. a) CDP 1、2、3(CH-1；2)：モーター電流スイッチおよびフロースイッチの感知によるポンプ故障警報。先発ポンプが故障するとチラーは停止し、後発のチラーが負荷に対応して自動起動する[BASとチラー制御器により検知、BASによるポンプ制御]。  
BASおよびチラーコントローラーにより感知され；BASによるポンプ制御?? あるいはBASおよびチラーコントローラー；BASによるポンプ制御により感知され]。  
b) CDP 4；5(CH-3)：モーター電流スイッチおよびフロースイッチの感知によるポンプ故障警報。先発ポンプが故障するとスタンバイポンプが自動起動する [BASとチラー制御器により検知、BASによるポンプ制御]

### 冷却塔(CT-1, 2; 3)

21. 冷却塔はこれに接続する冷却水ポンプ、または、ACUの冷却水ポンプが稼働するとき運転される(シーケンス41を参照)。ポンプ稼働とともに、選定された開放式冷却塔締切弁を開き、冷却塔温度制御が機能させる[BAS]。
22. ソフトウェアのセレクターが、どの冷却塔を先発、二番目、三番目に割当ててるかを定める[BAS]。
23. a. 冷却塔シーケンス [全てBASにて] 通常の冷房シーズンの間、冷却塔はチラーからの熱を排出し、出来る限りの効率で冷却した水をチラーの凝縮器に戻す。用いられるリセットスケジュールは：入口冷却水温度設定値は、外気の湿球温度プラス4に等しが、18.3より以上、28.3以下である。

冷却塔は入口冷却水設定温度を保持すべく、先ず最初に常時開のバイパス弁を徐々に調整し

て、冷却塔上部に水が行かないようにする。弁が完全にバイパス回路となり、かつ、冷却水入口温度がその設定値より高い時はバイパス弁が閉まり始め、そして冷却塔及び冷却水ポンプに夫々結びついている常時閉の冷却塔制御弁100% 開き、水が夫々の冷却塔の上部に送られる（更なる詳細については (b.)を参照）。バイパス弁は、冷却塔ファンを運転せずに入口冷却水温度が一定になるように、引き続き開閉調整される。

バイパス弁が完全に閉まり、入口冷却水温度が設定値より1 高くなると、順序だった冷却塔の段数制御(ステージング)により設定値を保持する。冷却塔のステージングは6段である：

CTステージ	冷却塔1 低速ファン	冷却塔2 低速ファン	冷却塔3 低速ファン	冷却塔1 高速ファン	冷却塔2 高速ファン	冷却塔3 高速ファン
0						
1	X					
2	X	X				
3	X	X	X			
4			X	X		
5				X	X	
6				X	X	X

入口冷却水温度は4分ごとに投票(チェック)される。入口冷却水温度が設定値より1 高くなると冷却塔ステージの段数は一つずつ増される。もし入口冷却水温度が設定値より0.5 以上低いとき冷却塔ステージは一段減らす。

b. CH-3のみオンの場合は、現在稼働中の冷却塔セルのファンのみが運転を続ける。(熱交換器HE-1のために一台の冷却等は常にオンである)。CH-3がオンで、かつ同時に、CH-1またはCH-2がオンとなると、もう一台の冷却塔セルがオンになる。CH-1またはCH-2のみがオンの時は2台のセルがオンになる。これらのシーケンスの意図は、さほど多くない水しか冷却塔に送られていない時に、冷却塔ファンのエネルギーを無駄に消費させないことである。

c. 先発冷却塔の締切弁はバイパス弁に反比例して開閉する。これが必要なのは次のためである。1) 運転開始時、CHにいち早く暖かい水を送る、2) CTの水槽からの過剰な水が溢水を防ぐ、そして3) 小型熱交換器 (HE-1) が稼働しているだけでも幾らかの水は冷却塔の上部に送られ結果として凍る可能性がある、からである。この制御により、かかる状態の時に水が冷却塔の上部に行くのを妨げるのである。

24. 後発チラーが稼働に参加するとその冷却水ポンプおよびこれに対応している冷却塔が稼働に参加する [BAS]。
25. 冷却塔の水槽にある多段の水位センサーが BASに次の情報を伝えてくる：
  - a) 高水位警報
  - b) 低水位警報
  - c) 補給水弁開
  - d) 補給水弁閉
  - e) システム停止

加熱器のステージの故障警報は電流感知スイッチで検知される。

26. 次のスケジュールにより水槽温度を7 に保つよう、冷却塔水槽2段加熱器が制御される [BAS]。

	オン (°C)	オフ (°C)
ステージ 1	8.9	10
ステージ 2	7.2	8.9

CT1 とCT2 には水槽温度センサーが具備されている。水槽の各冷却塔該当エリアは2段加熱器を有する。二つのセンサーのうちいずれかが低温を検知すると全ての冷却塔の該当するステージのヒーターが同時に稼動する。

27. サンプ内の水位を保つための冷却塔補給水弁(三台全ての冷却塔に対して一個)。水位の低下を検知すると、工業用水配管系の補給水バルブをゆっくりと開く[水位センサーはBAS]。
28. 電流リレーを介して検知されるモーター故障による、ポニーおよび主モーター警報。ファンモーターに故障があると、後発冷却塔が自動的に起動する[BAS]。
29. 振動制限スイッチにより検知される過剰振動警報。ファン故障を受け、後発冷却塔が自動的に起動する[BAS]。
30. チラーが休止しているときでも、先発冷却塔は(冬であっても)、熱交換器HE-1にACU-1 ~ 10 とCRU-1 からの約40冷凍トンの冷却熱を回収熱源として保つために運転される。冷却水ポンプ6、7、8 ; 9 に対するシーケンスを参照。

### 二次冷水ポンプ (CHWP 6、7、8)

31. 先発/後発機能ソフトウェアが、どの二次ポンプも先発ポンプの役割を果たすことを可能にしている[BAS]。
32. 上述のチラーシーケンスによる冷房需要により先発二次CHWポンプが起動する。後発の二次 CHWポンプはも上述のチラーシーケンスに従って起動する[BAS] 。
33. 差圧制御 [すべてBAS] 目的は、常時一つの冷却コイルのみ開度を90%に保つことにより、現状の負荷を満たすのに最低速・最低圧でポンプを稼働させることである。冷却コイルは5 分ごとに投票(制御)される。最大開度の冷却コイル弁を開度90% (+/- \_\_\_\_\_ のデッドバンド) に保つために、リモート部(8階のローカル)の差圧設定値を保持するための二次ポンプ吐出差圧設定値を変えるPI(比例+積分)ループ。例えば：最大開度の冷却コイル弁が開度90%以上のとき、PI 信号が算出されローカルの差圧設定値が上がるよう変更する。ローカル差圧設定値が満足されないときは、PI 信号を算出しポンプ吐出圧力設定値に送られ、これを上げる。上がったポンプ吐出差圧に合致するよう、もう一つ別のループを経由して可変速度(周波数) 駆動 (VFD)がポンプモーターの回転速度を高める。  
リモート差圧設定値は最大圧と最小圧の間に保たれる。上限圧は、全ての冷却コイル弁に同時に最大流量を供給するに必要な圧力(ABによる)である。下限圧はポンプモーターの運転が許される最小の運転速度に相当する圧力(モーターのメーカー及びTABによる)である。上限圧：\_\_\_\_\_ kPa。下限圧：\_\_\_\_\_ kPa。  
VFD(変速駆動機、インバータ)の内部設定によりVFDのポンプ駆動最低速度が決まる。リモート差圧センサーの数： \_\_\_\_\_。場所： \_\_\_\_\_

\*\*差圧制御と冷水供給温度リセット。差圧リセットと冷水供給温度リセットとは互いに競合する。シーケンス6;33では圧力リセットが冷水供給温度リセットに優先させている。

冷水供給温度リセットは全てのCCVが開度80%未満になるまでは動作せず、こ状況は圧力リセットが最小になるまでは起こらない。

34. ポンプ段階制御 [BAS] 二次冷水ポンプの一台が稼働している状態で、二次冷水量の合計が先発二次冷水ポンプの設計流量を10分間(全て調節可能)上回ったとき、最初の後発ポンプが起動する。両ポンプは一緒になって共通の吐出差圧設定値とリモート差圧設定値とを保持するため、同一の回転速度と流量で運転される。もし、合計二次流量が稼働中のポンプ (先発及び後発)の合計設計流量を10分間に亘って超えることがあれば、二台目の後発ポンプが起動する。三台の全てのポンプは一緒になって共通の吐出差圧設定値とリモート差圧設定値とを保持するため、同じ回転速度と流量で運転される。
35. 差圧が増大し負荷が減少するとき：二次冷水流量の合計が、10 分間(調節可能)に亘って、最初に選定された2台のポンプの流量の合計以下にまで減少したとき、二番目の後発二次冷水ポンプは停止する。同様に、ポンプ2台稼働中、二次冷水の合計流量が、10分間に亘って先発冷水ポンプ流量以下にまで減少したとき、最初の後発ポンプは停止する。
36. コントローラーはポンプの回転数と流量をモニターし、ポンプの運転がメーカーから提出された特性“ 曲線の終端 ” またはそれを超えた点で運転することのないように制御すべきである[BAS]。ポンプ特性曲線式により終端状態を検知した場合は、次ぎのポンプが起動し台数を増す。
37. ポンプ故障は電流感知スイッチを介して警報される。ポンプが故障すると次の後発ポンプが自動的に起動する (BASとチラー制御器)。
38. VFDの故障警報[BAS]。
39. 二次冷水ポンプの回転数はBASによりモニターされる。
40. 排煙システムが運転されている間のコイル凍結防止に関しては、排煙システム (EF-10) が稼働し、かつ、外気温度が4.4 以下の時、冷水ポンプ-6、7、8 は通常の制御のもとに運転し、全ての冷却コイル弁は各々対応するAHUの運転とともに開く[BAS]。

#### 41. ACU冷却水ポンプ (CDP 6、7 および 8 ; 9) と熱交換器HE-1

42. チラーが休止しているとき(冬であっても)、ACU-1 ~ 10 とCRU-1 からの約40冷凍トンの冷却排熱のための熱交換器HE-1からの熱を排出するため、先発冷却塔は季節を通して運転される。冷却水ポンプCDP 6 または7 (一方は予備)は水を熱交換器から冷却塔に送る。冷却水ポンプCDP 8 あるいは9 (一方は予備) はHE-1からACUおよびCRU-1に供給する。各グループに対して選定された冷却水ポンプ (CDP 6 又は7、及び、8又は9)は継続して転される[BAS]。
43. チラーが停止している時期、冷却水入口温度設定値、冷却塔バイパス弁、ファンのステージングパラメーターはチラーが運転される時期と同じ状態を保持する(上記参照)。
44. ポンプ故障は電流感知スイッチを介して警報される。ポンプが故障すると予備ポンプが自動的に起動する[BAS]。

**非居住期間における一般的なチラーの運転**

45. 非居住運転. 夜間あるいは週末などのスケジュールによる非居住時間にはチラー システムはスタンバイの状態にあるが、例外としてACU-1 ~ 10 とCRU-1からの排熱処理のため熱交換器 HE-1に対する冷却水温度が18.3 となるよう冷却塔は必要に応じて運転される。
46. 冬季運転. 冬季間はチラーシステムはスタンバイの状態にあるが、例外としてACU-1 ~ 10 とCRU-1からの排熱処理のため熱交換器 HE-1に対する冷却水温度が18.3 となるよう冷却塔は必要に応じて運転される。